

중형 운행 경유차용 Urea-SCR 시스템의 NO_x 저감성능에 미치는 영향인자

김 홍 석^{*1)} · 정 용 일¹⁾ · 송 명 호²⁾ · 이 성 욱²⁾ · 박 현 대³⁾ · 황 재 원³⁾

한국기계연구원 친환경엔진연구팀¹⁾ · 국민대학교 자동차전문대학원²⁾ · 일진전기(주)³⁾

Influential Factors for NO_x Reduction Performance of Urea-SCR System for an In-use Medium Duty Diesel Engine

Hongsuk Kim^{*1)} · Youngil Jeong¹⁾ · Myoungcho Song²⁾ · Seangwock Lee²⁾ ·
Hyundae Park³⁾ · Jaewon Hwang³⁾

¹⁾Engine R&D team, Korea Institute of Machinery & Materials, 104 Sinseongno, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

²⁾Graduate School of Automotive Engineering Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

³⁾ILJIN Electric Co., Ltd., 112-83 Anmyoung-dong, Taean-eup, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-976, Korea

(Received 11 June 2008 / Accepted 12 July 2008)

Abstract : This study is a part of project of urea-SCR system development for an in-use medium duty diesel engine. This study shows the effect of ammonia oxidation catalyst and SCR volume on NO_x reduction performance. When AOC(Ammonia Oxidation Catalyst) is not used, the urea injection should be controlled accurately to prevent NH₃ slip. However, it is found that the accurate NH₃ slip control is not easy without AOC in real engine operating conditions, because NH₃ and NO_x reaction characteristics change with many factors such as exhaust gas temperature and NH₃ absorbance on SCR. SCR volume is also one of important design parameters. This study shows that NO_x reduction efficiency increases with increase of SCR volume especially at high space velocity and low exhaust gas temperature conditions. Additionally, this paper shows the emissions of EURO-2 medium duty diesel engine can be improved to the level of EURO-5 with a DPF and urea-SCR system.

Key words : Urea(요소수), SCR(Selective Catalytic Reduction, 선택환원촉매), Diesel engine(디젤엔진), AOC (Ammonia Oxidation Catalyst, 암모니아 산화촉매), NO_x(질소산화물)

Nomenclature

\dot{m} : mass flow rate, kg/h
 NW : molecular weight
 P : pressure, mbar
 T : temperature, °C
 ρ : density, kg/m³

uDOC : upstream of Diesel Oxidation Catalyst
dDPF : downstream of Diesel Particulate Filter
uDPF : upstream of Diesel Particulate Filter
dSCR : downstream of SCR
uSCR : upstream of SCR

Subscripts

dDOC : downstream of Diesel Oxidation Catalyst

1. 서론

최근 강화되는 자동차 배출가스 규제는 기존의 엔진 연소기술만으로 만족시키기 어려운 실정이어서 국내·외로 자동차 배출가스 후처리기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 디젤엔진의 유해 배

*Corresponding author, E-mail: hongasuk@kimm.re.kr

출물질 중 입자상물질(PM, Particulate matters)은 DPF(Diesel Particulate Filter)로 약 90% 저감할 수 있으며, 질소산화물의 경우 LNT(Lean NO_x Traps), LNC(Lean NO_x Catalysts), urea-SCR(Selective Catalytic Reduction) 시스템 등과 같은 많은 기술들이 연구되고 있다.¹⁾ 이 중 LNT는 흡장촉매를 사용하고, 주기적으로 농후한 연소분위기를 만들어 흡장된 NO_x를 정화함으로써 일정 수준의 NO_x 저감효율을 확보할 수 있으나, 귀금속을 촉매로 사용하기 때문에 단가가 비싸며 연료 중 황성분에 의한 촉매 피독의 단점이 있다. Urea-SCR의 경우 urea 과분사시 NH₃ 배출, urea를 공급하기 위한 사회적 인프라 구축 등의 문제점이 있지만 다른 기술들에 비해 높은 저감효율과 연비특성이 우수하여 현재 가장 유력한 NO_x 저감기술로 제시되고 있다.²⁻⁴⁾ Urea-SCR 기술은 이미 일본과 유럽을 중심으로 약 2005년부터 중·대형 상용차량에 적용하고 있으며,⁵⁾ 우리나라에서는 2008년부터 중대형 상용차에 적용되고 있다.⁶⁾

최근 Urea SCR 시스템의 NH₃ slip에 관한 관심이 높아지고 있으며, 유럽에서는 시험 모드 평균 NH₃ 농도가 25ppm 이상을 넘지 않도록 제한하고 있다.⁷⁾ NH₃ slip에 관한 대표적인 연구로 Hunnekes 등은 AOC(Ammoia Oxidation Catalyst) 성능시험을 통해서 NH₃가 산화되어 N₂로 전환되는 반응의 light off temperature는 250~300°C이고, AOC에 의해 NH₃가 N₂로 전환되는 비율은 35~55%이며, 나머지는 NO_x 또는 N₂O로 전환됨을 보였다.⁸⁾

SCR 체적은 SCR 시스템 설계의 중요 변수 중의 하나로써 SCR 체적을 증가시키면 NO_x 저감성능은 향상되고 NH₃ slip을 줄일 수 있으나 시스템 배압이 증가하고, 단가 상승 등 문제가 있어 가능한 수준에서 최소의 SCR 체적을 선정해야 한다.

본 연구는 중형 운행 경유차 retrofit용 urea-SCR 시스템을 개발하기 위한 연구 중 일부로써 AOC유무가 urea SCR의 성능에 미치는 영향을 확인하고, 적정 SCR 체적을 엔진 시험을 통해 제안하고자 한다.

2. 시험방법

2.1 시험장치

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 urea-SCR 시스템의

구성을 나타낸다. 엔진의 배기관에 DOC(Diesel Oxidation Catalyst), DPF, SCR, AOC를 순서대로 설치하였으며 SCR 전단에서 약 1 m 떨어진 곳에서 urea를 분사하였다. Urea 분사용 injector로는 상용 가솔린 injector를 사용하였다. 그리고 urea의 균일 분포를 위해서 SCR 전단에 mixer를 설치하였다. 본 연구에서는 urea의 분포 균일도를 정량화하지는 않았으며 urea 분포 균일도에 따라 NO_x 저감성능의 차이가 크게 나타날 수 있으므로 향후 연구에서의 보완이 필요하다.

SCR에 의한 NO_x 저감효율을 확인하기 위하여 DOC 전단과 SCR 후단에 NO_x 센서를 각각 설치하였다. 참고로 본 연구에서는 별도의 NH₃ 센서를 사용하지 않았다. NO_x 센서로는 SIEMENS VDO사의 SMART 센서를 사용하였으며, 이 센서는 배출가스 중에 존재하는 NO, NO₂, NH₃를 모두 NO_x로 인식하는 것이 특징이다. 그리고, SCR 전후단 K-type의 열전대를 설치하여 배출가스온도를 측정하였다.

본 연구에서는 마을버스나 5톤 트럭에 사용되는 EURO-2수준 2002년식 6.6L급 디젤 엔진을 사용하였다. 시험대상 엔진은 과급기와 중간냉각기가 있으며, EGR 장치는 없고, 기계식 연료펌프를 사용하는 것이 특징이다. Table 1은 실험에 사용된 DOC, DPF, SCR, AOC의 제원을 나타낸다.

본 연구에서는 AOC유무 및 적정 SCR 체적 결정을 위하여 13개의 개별 운전조건으로 구성되는 ESC mode⁹⁾로 평가하였다. Table 2는 ESC mode의 시험조건과 배출가스 온도를 나타낸다.

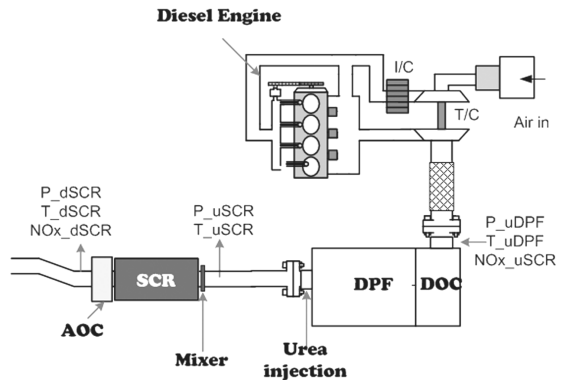


Fig. 1 Schematic diagram of an experimental setup

Table 1 Specifications of DPF, DOC, SCR, and AOC

	DOC	DPF	SCR	AOC
Support	Cordierite			
	400cpi	200cpi	400cpi	400cpi
Coating	PGM	PGM	Zeolite	PGM
Dia. (cm)	28.6	26.7	19.0	19.0
Length (cm)	7.6	30.5		10.2
Volume (L)	4.9	17	7.2, 8.3, 11.9	2.9

Table 2 Test conditions of ESC mode

No.	RPM	load (%)	Weighting factor	T_uSCR (°C)
1	idle	0	0.15	90
2	1667	100	0.08	154
3	2085	50	0.1	309
4	2085	75	0.1	345
5	1667	50	0.05	354
6	1667	75	0.05	330
7	1667	25	0.05	328
8	2085	100	0.09	357
9	2085	25	0.1	360
10	2500	100	0.08	405
11	2500	25	0.05	406
12	2500	75	0.05	460
13	2500	50	0.05	467

2.2 NO_x의 질량유량 및 urea 분사량 계산

본 연구에서는 NO_x 환원제로 독일 DIN V 70070의 규격을 만족하는 urea 32.5% 수용액인 상용 AdBlue를 사용하였다. 본 절에서는 배출가스 질량유량 및 NO_x 농도를 이용하여 Adblue 분사량을 결정하는 방법을 기술하고자 한다.

AdBlue로부터 생성되는 urea 양은 다음과 같다.

$$\dot{m}_{urea} = 0.325 \dot{m}_{AdBlue} \tag{1}$$

Urea가 NH₃로 열분해되는 화학식은 다음과 같고,



urea로부터 발생하는 NH₃ 질량유량(g/h)은 다음 식으로 계산된다.

$$\dot{m}_{NH_3} = \frac{2NW_{NH_3}}{NW_{urea}} \dot{m}_{urea} = 0.57 \dot{m}_{urea} \tag{3}$$

여기서, NW_{NH_3} 와 NW_{urea} 는 각각 NH₃와 urea의 분

자량을 의미한다.

한편, 배출가스 중 NO_x의 질량은 다음 식을 이용해 계산하였다.

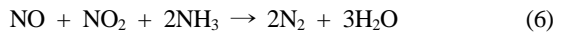
$$\dot{m}_{NO_x} = NO_x_uSCR(ppm) \times C \times \dot{m}_{Exh} \tag{4}$$

여기서 \dot{m}_{Exh} 는 배출가스의 질량유량이며, NO_x_uSCR(ppm)는 SCR전단에서 측정된 NO_x의 농도이다. C는 배출가스와 NO_x의 밀도비로써 NO_x를 NO 50%와 NO₂ 50%의 혼합물로 가정하고, 배출가스의 조성을 공기의 조성하고 같다고 가정하여 다음의 값으로 계산하였다.

$$C = \frac{\rho_{NO_x}}{\rho_{exhaust\ gas}} \approx \frac{0.5(NW_{NO} + NW_{NO_2})}{NW_{air}} \tag{5}$$

여기서, ρ_{NO_x} 와 $\rho_{exhaust\ gas}$ 는 각각 NO_x와 배출가스의 밀도를 의미하고, NW_{NO} , NW_{NO_2} , NW_{air} 는 각각 NO, NO₂, 공기의 분자량을 의미한다.

SCR 시스템의 대표적인 NO_x 환원식은 다음과 같다.



식 (6)으로부터 화공양론적 몰비인 NO:NO₂:NH₃=1:1:2의 조건으로 반응하기 위한 NH₃/(NO+NO₂)의 질량비는 분자량을 고려하였을 때 0.447임을 알 수 있다. 따라서 NH₃/NO_x 몰비와 NH₃/NO_x 질량비는 다음의 관계를 갖는다.

$$\left(\frac{NH_3}{NO_x}\right)_{mole\ ratio} = \frac{1}{0.447} \times \frac{\dot{m}_{NH_3}}{\dot{m}_{NO_x}} \tag{7}$$

따라서 본 논문에서는 식(1), (3), (7)을 이용하여 배출가스 중의 NO_x 질량유량 및 NH₃/NO_x 몰비에 따른 Adblue 분사량을 다음 식과 같이 계산하였다.

$$\dot{m}_{AdBlue} = 2.41 \times \dot{m}_{NO_x} \times \left(\frac{NH_3}{NO_x}\right)_{mole\ ratio} \tag{8}$$

3. AOC 유무에 의한 영향

3.1 AOC가 없는 경우 NO_x 저감 특성

AOC를 장착하는 경우 비용 및 시스템 배압 상승 등의 문제가 있어 본 절에서는 AOC를 사용하지 않

고, urea 분사량만을 조정하여 목적하는 NO_x 저감율을 확보할 수 있는지 확인하고자 하였다.

Fig. 2는 AOC를 사용하지 않고, SCR만 사용하는 경우 실시간 NH₃ slip 및 흡착 특성을 나타낸다. Fig. 2(a)는 엔진회전수 1667rpm의 SCR전단 배출가스 온도 250°C 조건에서 urea 분사시 SCR 후단 NO_x 센서의 실시간 측정 값의 변화를 나타낸다. NH₃/NO_x 몰비 0.6으로 urea를 분사하였을 경우 점차 NO_x 값이 낮아지다가 NH₃ slip의 영향으로 NO_x 값이 약간 상승하는 것을 볼 수 있다(그림의 A참고). 또한, NH₃/NO_x 몰비를 각각 1.0, 1.25로 urea를 분사 하는 경우 그림의 B와 C처럼 많은 양의 NH₃가 slip되어 급격하게 NO_x 값이 상승하는 것을 볼 수 있다. 그리고, 분사를 멈춘 후에 다시 NO_x 농도가 감소하는 것을 그림의 B'와 C'에서 확인할 수 있는데 이는 촉매 상에 흡착되어있던 NH₃에 의한 NO_x 저감 반응 때문인 것으로 판단된다. Fig. 2(b)는 배출가스 온도

300°C 조건의 결과로써 배출가스 온도 250°C 조건인 Fig. 2(a)의 결과와 비교하였을 때 SCR 촉매 반응 특성상 배출가스 온도가 상승함에 따라 NO_x 저감효율은 증가하지만 그 외 NH₃ slip 및 흡착 현상은 유사함을 알 수 있다. 그리고 배출가스 온도가 350°C인 Fig. 2(c)의 경우 NH₃/NO_x 몰비가 0.6일 때는 NH₃ slip은 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 그리고, NH₃/NO_x 몰비가 약 0.9일 때와 1.2일 때는 후반부에 NH₃ slip이 발생하고, urea 분사 종료 후 NO_x 농도 값이 urea 분사 전 수준으로 회복되는 속도로부터 NH₃ 흡착은 Fig. 2(a)와 (b)에 비해 크지 않음을 알 수 있다. Fig. 2(d)는 배출가스 온도 400°C 조건의 결과이며 NH₃/NO_x 몰비가 0.6일 때는 NH₃ slip이 발생하지 않았지만 NH₃/NO_x 몰비가 0.95 이상 증가하면 NH₃ slip이 발생하여 SCR 후단 NO_x 값이 증가함을 알 수 있다. 그러나 urea 분사 종료 후 NO_x 농도 값이 urea 분사 전 수준으로 급격하게 회복되고, NH₃ 흡착에

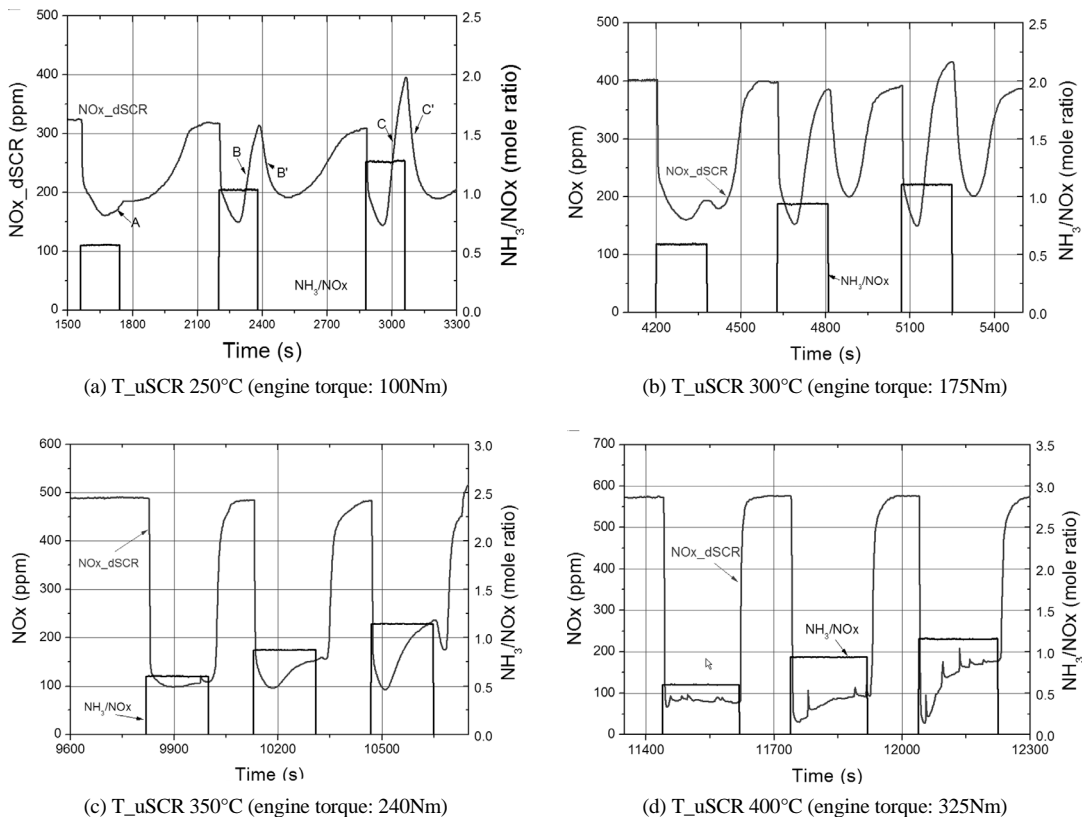


Fig. 2 Real time NO_x conversion characteristics at 1667rpm (SCR 7.2L, without AOC)

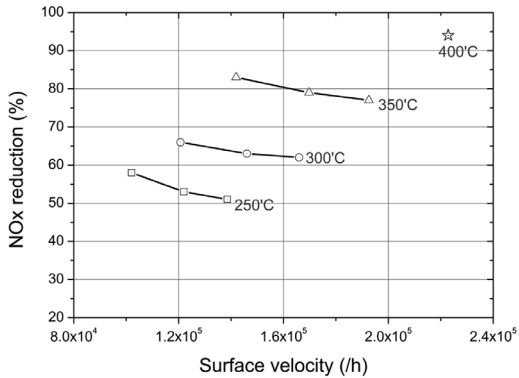


Fig. 3 NO_x reduction rates with respect to surface velocity and temperature of upstream SCR (SCR 7.2L, without AOC)

의해서 NO_x가 저감되는 현상은 볼 수 없었다. 즉 배출가스 온도가 높은 경우 SCR의 NH₃ 흡착특성은 배출가스 온도가 낮은 경우에 비해 크지 않은 것으로 보인다.

Fig. 3은 공간속도(surface velocity)와 SCR 전단의 배출가스 온도에 따른 SCR 촉매의 NO_x 저감율을 나타낸다. AOC를 장착하지 않고 7.2L의 SCR을 사용하였다. 엔진의 여러 조건에서 정속 운전하여 얻은 결과이며, urea 공급량을 변화시키면서 얻을 수 있는 최대 NO_x 저감율을 표시한 것이다. 배출가스 온도가 높을수록 NO_x 저감효율이 향상되며, 동일배출가스 온도 조건에서는 공간속도가 클수록 NO_x 저감효율이 감소함을 알 수 있다. 특히, 본 연구에서는 NO_x 저감효율이 공간속도에 대한 영향보다는 배출가스 온도에 더 민감하게 변화함을 알 수 있었다.

이상의 결과를 정리하면 다음과 같다. AOC가 있는 시스템에서는 NH₃/NO_x 몰비가 1이 되도록 urea를 분사하고 slip되는 NH₃는 AOC에서 제거하면 되므로 시스템 제어가 단순하다. 그러나 AOC를 사용하지 않는 경우에는 NH₃ slip이 발생하지 않도록 urea 분사량을 정밀 제어해야 한다. 그러나 NH₃에 의한 NO_x 저감 반응이 배출가스 온도에 따라 민감하게 영향을 받고, 저온 NH₃ 흡착현상이 있기 때문에 AOC를 사용하지 않고 urea 분사량 제어를 통해서 NH₃ slip을 제어하는 것은 어렵다.

3.2 AOC 유무에 따른 NO_x 저감효율 비교

본 절에서는 AOC를 장착한 경우와 장착하지 않

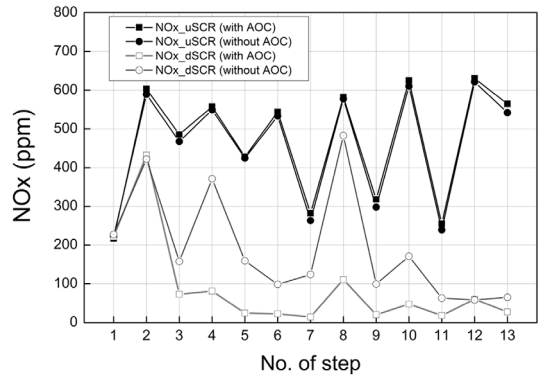


Fig. 4 Change of NO_x concentration during ESC mode (averaged values during 30s at the end of each step)

은 경우의 NH₃ slip 특성을 비교하였다. 체적 8.3L의 SCR을 사용하였으며, 시험은 ESC mode에서 수행되었다. 본 시험에서는 각 운전조건에서 NH₃/NO_x 몰비가 1이 되도록 urea 분사량을 제어하였다.

Fig. 4는 ESC mode 각 step의 마지막 30초 동안 시간 평균된 SCR 전후단의 NO_x 농도 값을 나타낸다. 각 step에서 SCR 전단의 NO_x 농도 값은 약 200~600ppm 범위 내에서 변화하며, AOC가 있는 경우와 없는 경우 SCR 전단의 NO_x 농도 값은 동일하다. 그러나 SCR 후단의 NO_x 농도 값은 AOC를 장착하는 경우가 AOC를 장착하지 않는 경우에 비해 크게 작음을 알 수 있다. 전술한 바와 같이 본 연구에서 사용한 NO_x 센서는 NH₃도 NO_x로 인식하므로 AOC를 장착하지 않는 경우 SCR 후단의 NO_x 농도가 크다는 것은 NH₃ slip이 과도하게 발생함을 추측할 수 있다. AOC가 없는 경우에는 배출가스 온도가 낮고, 배출가스 유량이 큰 조건인 2085rpm 75%부하 조건인 4번과 2085rpm 100%부하 조건인 8번 step에서 NH₃가 많이 slip됨을 알 수 있다. 참고로 1번 step은 idle 조건으로 urea를 분사하지 않았고, 2번 step에서는 NH₃/NO_x 몰비가 1이 되도록 urea를 분사하였다. 2번 step에서는 SCR 전단 배출가스 온도가 약 150°C로 낮아 분사한 urea의 대부분이 NO_x 환원반응에 참여하지 못하고 NH₃로 slip되는 것으로 보인다. 또한, 배출가스 온도가 AOC의 활성 온도 이하이므로 AOC가 NH₃를 산화하지 못해 AOC유무에 따른 SCR 후단 NO_x 농도 값의 변화가 없는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 ESC mode 시험의 SCR 전후단 NO_x 값을

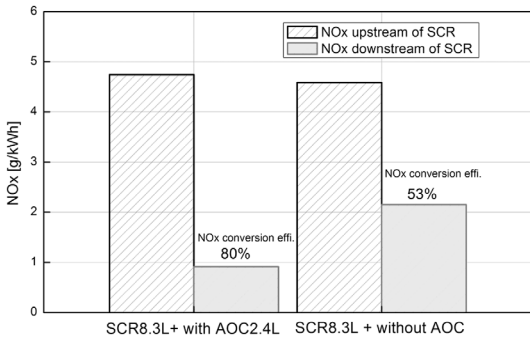


Fig. 5 The effect of AOC on NO_x reduction rate (ESC mode result)

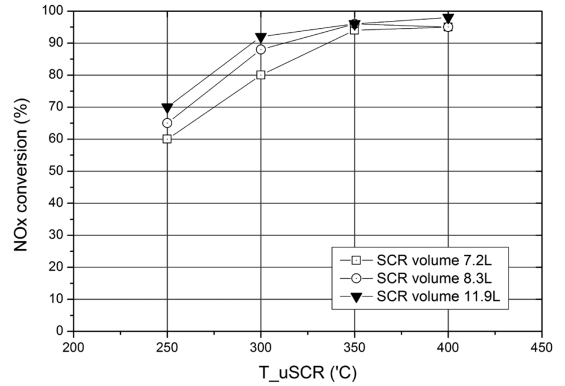
g/kWh로 환산하여 얻은 NO_x 저감율을 나타낸다. AOC를 장착하는 경우 80%의 NO_x 저감율을 보이며, AOC를 장착하지 않는 경우는 NH₃의 slip으로 인해 NO_x 저감율이 53%로 저조함을 알 수 있다.

4. SCR 체적변화가 NO_x 저감효율에 미치는 영향

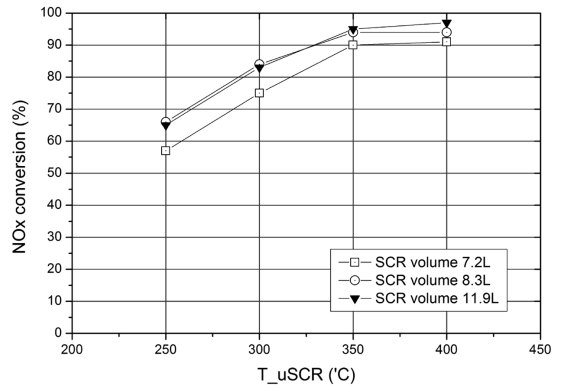
본 연구대상 엔진의 적정 SCR 체적은 얼마인지를 알아보기 위해 SCR의 체적을 7.2L, 8.3L, 11.9L로 변화시키면서 NO_x 저감성능을 알아보았다. 모든 경우 2.9L 체적의 AOC를 장착하여 시험하였다.

Fig. 6은 여러 운전조건에서 SCR 체적에 따른 NO_x 저감율을 비교한 그래프이다. Urea는 NH₃/NO_x 몰비가 1이 되도록 분사하였다. Fig. 6(a)는 1667 RPM의 결과로써 300°C이하의 저온조건에서는 SCR 체적이 증가할수록 NO_x 저감효율이 향상된다. 그러나 온도가 350°C이상의 조건에서는 SCR 체적이 NO_x 저감효율에 미치는 영향이 미비하다. Fig. 6(b)는 2500RPM의 결과로써 Fig. 6(a)의 결과와는 다르게 전 온도영역에 걸쳐 SCR 체적이 증가할수록 NO_x 저감효율이 향상되는 것을 알 수 있다. 그러나 SCR 체적이 8.3L의 경우는 전 온도조건에 걸쳐 SCR 체적이 11.9L인 경우와 유사한 수준의 NO_x 저감효율을 얻을 수 있었다.

Fig. 7은 ESC mode의 각 step에서 SCR 체적에 따른 SCR 전후단 NO_x 농도 값을 비교한 그림이다. 배출가스온도가 상대적으로 낮고, 배출가스유량이 많은 8번 step에서 SCR 체적에 따른 SCR 후단의 NO_x 농도 값 차이가 가장 크게 나타남을 알 수 있다.



(a) 1667 RPM



(b) 2500 RPM

Fig. 6 The effect of SCR volume on NO_x reduction efficiency at various engine operating conditions

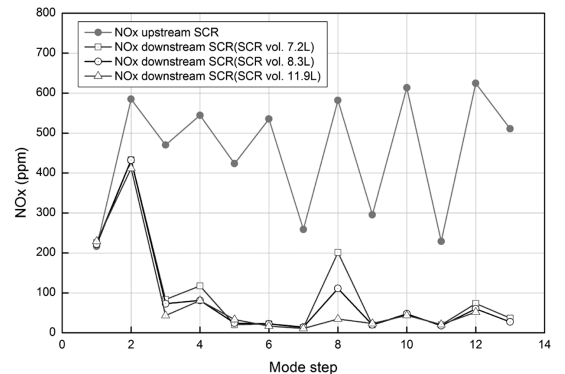


Fig. 7 The effect of SCR volume on the NO_x reduction performance during ESC mode (averaged values during 30s at the end of each step)

Fig. 8은 ESC mode 시험의 SCR 전후단 NO_x 값을 g/kWh로 환산하여 얻은 SCR 체적에 따른 NO_x 저감

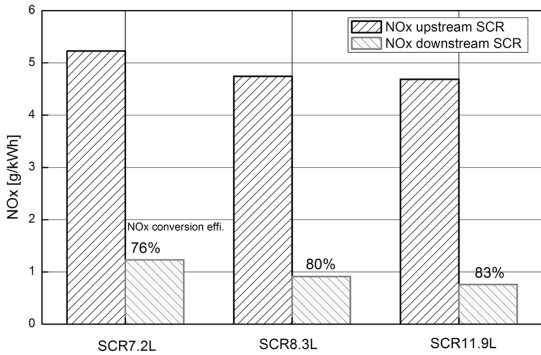


Fig. 8 The effect of SCR volume on NOx reduction rate (ESC mode result)

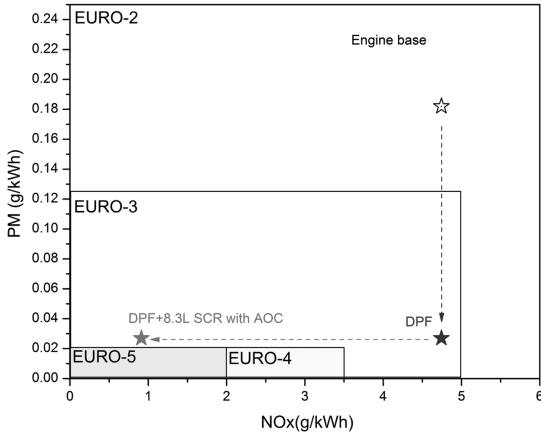


Fig. 9 The improve of emissions of EURO-2 engine by using DPF and urea-SCR system

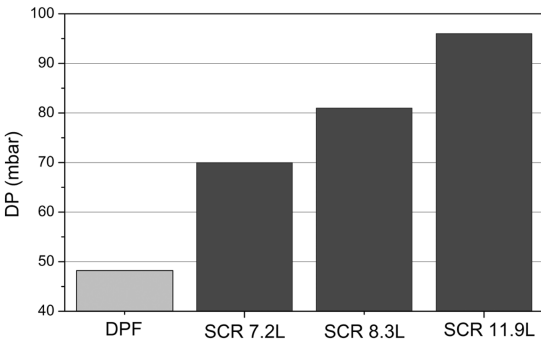


Fig. 10 The effect of SCR volume on the maximum back pressure of SCR system during ESC mode operation

을 나타낸다. SCR 체적이 증가함에 따라 NO_x 저감효율이 증가함을 알 수 있으며, 향후 urea 분사의 최적화 등을 통해 NO_x 저감율이 상승할 수 있음을 고려하더라도 수도권대기질개선에 관한 특별법상

1종 NO_x 저감장치의 NO_x 저감목표인 80% 를 확보 하기 위해서는 SCR 체적을 8.3L 이상 선정해야 한다는 것을 의미한다.

Fig. 9는 NO_x/PM 맵에 배출가스 규제치를 표시한 그림이다. 배출가스가 EURO-2 수준인 차량에 urea-SCR 시스템과 DPF를 사용하면 배출가스가 ERUO-5 수준에 근접하는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 SCR 체적 증가에 따른 배압의 증가를 나타내는 그림이다. 그림의 배압은 ESC mode 운전 시 나타나는 최대 배압이며, mixer, SCR 및 AOC의 배압을 포함한 값이다. 즉, SCR 체적이 증가하면 NO_x 저감성능은 좋아지나 배압증가에 따라 연비악화 등의 단점을 유발할 수 있다. 특히 clean 상태의 DPF 배압이 48 mbar인 수준을 감안하면 SCR 시스템의 배압은 상당한 수준이며 향후 저감을 위한 노력이 필요할 것으로 보인다.

5. 결론

본 연구는 중형 운행 경유차 retrofit용 urea-SCR 시스템을 개발하기 위한 연구의 일부로써 AOC 유무의 영향을 밝히고, 적정 SCR 체적을 선정하기 위한 것으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) NH₃에 의한 NO_x 저감 반응이 배출가스 온도 등에 따라 영향을 받고, 저온 NH₃ 흡착현상이 있기 때문에 AOC를 사용하지 않고 urea 분사량 제어를 통해서 NH₃ slip을 제어하는 것은 어렵다.
- 2) SCR의 NH₃ 흡착은 배출가스 온도가 낮을 수록 크게 발생하고, 배출가스 온도가 약 400°C인 고부하 운전시에는 SCR의 NH₃ 흡착 현상은 없는 것으로 확인되었다.
- 3) Urea-SCR 시스템을 사용하여 상대적으로 NO_x 배출량이 많은 운행 경유 차량에서도 80% 이상의 NO_x 저감이 가능함을 알 수 있었다. 또한 배출가스가 EURO-2 수준인 차량에 Urea-SCR 시스템과 DPF를 함께 적용하면 배출가스가 ERUO-5 수준에 근접하는 것을 알 수 있었다.
- 4) NO_x 저감을 목표를 80%로 고려했을 때 본 연구 대상 엔진의 경우 배기량대비 약 1.3배의 체적을 갖는 SCR을 적용하는 것이 타당할 것으로 판단되며, urea 분사량 최적화를 통한 NO_x 저감을 증

대 및 배압감소를 위한 노력이 필요하다.

후 기

본 연구는 환경부 Eco-STAR Project 사업의 무·저 공해자동차사업단 지원하에 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- 1) <http://www.dieselnet.com>
- 2) J. G. Nam, "Static Characteristics of a Urea-SCR System for NO_x Reduction in Diesel Engines," *Int. J. Automotive Technology*, Vol.8, No.3, pp.283-288, 2007.
- 3) C. Lee, "SCR for DeNO_x of Diesel Vehicles," *Auto Journal*, Vol.28, No.6, pp.21-28, 2006.
- 4) S. Jeong, S. J. Lee, W. Kim and C. B. Lee, "Numerical Study on the Injector Shape and Location of Urea-SCR System of Heavy-duty Diesel Engine for Preventing NH₃ Slip," *Transactions of KSAE*, Vol.14, No.1, pp.68-78, 2006.
- 5) K. Hirata, N. Masaki, H. Ueno and H. Akagawa, "Development of Urea-SCR System for a Heavy-Duty Commercial Vehicles," SAE 2005-01-1860, 2005.
- 6) Y. Cho, J. Won, J. Park, S. Kang and D. Lee, "Development of SCR System for Heavy Duty Diesel Engine," *KSAE 30th Anniversary Conference 2008 Proceedings*, Vol.I, pp.238-243, 2008.
- 7) European Commission Directive 2005/78/EC of 14 November 2005.
- 8) E. V. Hunnekes, P. Heijden and J. A. Patchett, "Ammonia Oxidation Catalysts for Mobile SCR Systems," SAE 2006-01-0640, 2006.
- 9) European Commission Directive 1999/96/EC of December 13, 1999.